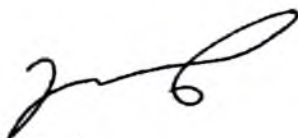


На правах рукописи



**Зобков Михаил Борисович**

**МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ДАННЫХ  
СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

специальность 25.00.35 «Геоинформатика»

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте водных проблем Севера Карельского научного центра РАН в г.Петрозаводске.

**Научный руководитель:**

доктор химических наук,  
Лозовик Петр Александрович

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук,  
профессор Ковчин Игорь Сергеевич

кандидат технических наук,  
доцент Васильев Игорь Анатольевич

**Ведущая организация:**

Гидрохимический институт  
Федеральной службы  
по гидрометеорологии и мониторингу  
окружающей среды, г.Ростов-на-Дону

Защита диссертации состоится 5 апреля 2012 г. в 17.00 на заседании Диссертационного совета Д. 212.197.03 при Российском государственном гидрометеорологическом университете.

Адрес: 195196, Санкт-Петербург, проспект Metallистов, 3, ауд. 102.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан 1 марта 2012 г.



Ученый секретарь  
Диссертационного совета Д. 212.197.03,  
доктор технических наук,  
профессор

A large, stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to P.P. Beskid.

П.П.Бескид

## **Общая характеристика работы**

*Актуальность проблемы.* В настоящее время в связи с загрязнением водной среды всё большую актуальность приобретает вопрос оценки её качества и возможности применения воды для конкретных видов водопользования, а также выявления антропогенного влияния на состояние водных объектов. Однако, в связи с тем, что эта оценка проводится по нескольким десяткам химических параметров, данный анализ представляет собой достаточно трудоёмкий и длительный процесс. Особенно велики трудозатраты при оценке состояния водных объектов обширного региона с развитой озерно-речной системой, такого, как Республика Карелия. В тоже время, автоматизация этих операций в существующих информационных системах не проводится в связи с отсутствием формализованных алгоритмов классификации, определения качества вод и их пригодности для различных видов водопользования. Это связано с тем, что имеющиеся методы классификации и определения состояния водных объектов основываются главным образом на экспертных оценках и требуют построения специализированных экспертных систем, что не всегда возможно и целесообразно.

Для поддержки принятия решений в области гидрохимии требуется не только выполнение классических расчетных операций, оценка загрязненности вод, но и комплексная характеристика состояния водного объекта: определение природного качества воды, её классификация по основным химическим показателям, репрезентативная оценка загрязнения независимо от его уровня и набора загрязняющих веществ, определение степени антропогенного влияния или отклонения химического состава воды от региональных фоновых показателей.

Следует отметить, что на сегодняшний день практически отсутствуют автоматизированные методы и системы, позволяющие выполнять большинство из этих задач, в частности проводить классификацию природного качества воды, определять степень отклонения химического состава от регионального фона и осуществлять оценку степени загрязнения с учетом региональной специфики вод.

**Основная цель исследования** – оптимизировать и ускорить процесс обработки и анализа геоинформационных данных состояния водных объектов при проведении научно – исследовательских работ (НИР) в сфере гидрохимии поверхностных вод и принятии управленческих решений в области охраны и использования водных ресурсов.

При этом ставились следующие задачи:

- Модифицировать существующие и разработать новые геоинформационные методы оценки состояния водных объектов по химическим показателям.
- Провести алгоритмизацию выбранных методов.
- Создать программное обеспечение для ввода, хранения, обработки, анализа и вывода информации о состоянии водных объектов с учетом их пространственного расположения.
- Осуществить верификацию предложенных методов.
- Оценить современное состояние водных объектов Карелии методом геоинформационного моделирования с помощью разработанного ПО.

**Методы исследования** основываются на математическом и геопространственном моделировании, нечетком шкалировании с применением лингвистических переменных, сборе, хранении, преобразовании и отображении информации, доступе к базам данных, объектно-ориентированном подходе к проектированию и разработке программных средств.

**Научная новизна исследования:**

- Разработаны математические методы и алгоритмы оценки природного качества воды в признаковом пространстве геоинформационных данных.
- Разработан и алгоритмизирован новый математический метод с применением функций желательности для поиска отклонений в состоянии водных объектов от региональной нормы.
- Предложен модифицированный алгоритм оценки степени загрязнения водных объектов с учетом региональной специфики вод Карельского гидрографического района.
- Создана геоинформационная система оценки состояния водных объектов Карелии, учитывающая природное качество воды, степень её загрязнения и отклонения химического состава от региональной нормы.

**Практическая значимость:**

- Разработанное программное обеспечение (АИС «ОГХИ») оптимизирует и ускоряет процесс обработки исходных геопространственных данных при выполнении НИР, а также может применяться для поддержки принятия решений в области охраны и использования водных ресурсов.
- Результаты анализа состояния водных объектов Республики Карелия могут быть использованы для обоснования водоохранных мероприятий и для оценки пригодности водоемов и водотоков для различных видов водопотребления.

**Личный вклад автора:**

- Автором разработаны методы и алгоритмы классификации, оценки качества, поиска аномалий в химическом составе воды, определения природы органического вещества на основе геопространственных данных.
- Создано программное обеспечение для поддержки принятия решений в области гидрохимии поверхностных вод «Обработка гидрохимической информации и оценка состояния водных объектов» (АИС «ОГХИ»), база данных информационной системы и ГИС оценки состояния водных объектов Карелии на её основе.
- Автор принимал непосредственное участие в более чем 25 экспедициях по сбору и обработке натурных данных на водных объектах Республики Карелия в 2004-2011 гг.

**Защищаемые положения:**

- Математическое и информационное обеспечение для анализа состояния водных объектов (оценки природного качества воды, степени загрязнения и отклонения от региональной нормы) на основе геопространственных данных.
- Программное обеспечение автоматизированной информационной системы «Обработка гидрохимической информации и оценка состояния водных объектов» (АИС «ОГХИ») и механизм его взаимодействия с ГИС.
- Геоинформационная система оценки состояния водных объектов Карелии.
- Результаты оценки современного состояния водных объектов Карелии полученные с помощью разработанной геоинформационной системы.

**Представление работы.** Основные положения и результаты работы были представлены на международных, всероссийских и региональных конференциях: международной конференции "Environment. Technology. Resources." (г.Резекне, Латвия, 2009 г.), всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) «Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России» (г.Азов, 2009 г.), всероссийской конференции (с международным участием) «Северные территории России: проблемы и перспективы развития» (г.Архангельск, 2008 г.), всероссийской конференции «Водные ресурсы Европейского Севера России: итоги и перспективы исследований» (г.Петрозаводск, 2006 г.), XXX-ом юбилейном гидрохимическом совещании (г. Азов, 2005 г.), Девятой межвузовской молодежной научной конференции «Школа экологической геологии и рационального недропользования» (г.Санкт-Петербург, 2008 г.), II Республиканской школе-конференции молодых ученых «Водная среда Карелии: исследование, использование, охрана» (г. Петрозаводск, 2006 г.).

#### **Публикации по теме диссертации**

По теме диссертации опубликовано 15 работ по списку литературы, в том числе 3 в изданиях рекомендуемых ВАК для представления основных результатов диссертации, 4 главы в монографиях, 7 публикаций в сборниках научных статей и материалах конференций, 1 авторское свидетельство на программу для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы содержащего 153 наименования. Работа содержит 178 страниц машинописного текста, 48 рисунков и 36 таблиц.

#### **Краткое содержание работы.**

*Во введении* отражена актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, обоснована научная новизна и практическая значимость работы.

*В первой главе* выполнен обзор современных методов оценки состояния водных объектов. Установлено, что большинство рассмотренных методов и подходов на сегодняшний день не имеют строгого алгоритмического выражения, а используют элементы экспертной оценки. Для решения подобных задач более целесообразно использовать методы экспертных систем (ЭС) и систем поддержки принятия решений (СППР). На основании литературных данных выбраны основные методы и подходы, которые могут быть применены при автоматизированной оценке состояния водных объектов по химическим показателям и для визуального представления пространственно-распределенной информации с помощью геоинформационных систем (ГИС).

*Во второй главе* проведен обзор программного обеспечения и область его применения в данной работе. В этой связи рассмотрены средства разработки прикладных программ (Borland Delphi), геоинформационные системы (MapInfo, Surfer), программы для математической обработки информации (Math Cad, MS Excel). Приведено описание баз геопространственных данных водных объектов Карелии и баз гидрохимических данных, применявшихся в процессе работы.

Для создания программного обеспечения АИС и построения структуры базы данных системы использовались пакеты программ Borland Delphi Turbo и Borland Delphi 7. Для создания структуры базы данных и регистрации её на компьютере применялись программы Database Desktop и Database Administrator из пакета Borland Delphi 7.



Программа Math Cad 2000 применялась для поиска вида функций, отражающих степень отклонения химического состава воды от среднерегиональных величин.

Microsoft Excel применялась для частичного хранения, ввода, редактирования и вывода информации из базы данных АИС, а также для статистического и графического анализа как исходной, так и обработанной информации. Формат таблиц MS Excel применялся для организации связи программного обеспечения АИС с геоинформационными системами MapInfo и Surfer.

Геокодирование исходных данных осуществлялось путем использования кадастровых номеров для основной массы водных объектов, а для станций Онежского озера их уникальных номеров.

Для характеристики состояния и классификации вод в работе использованы данные по химическому составу поверхностных вод Карелии, полученные в 1980–2000 гг. на единой методологической основе (Лозовик, Морозов и др., 1991; Лозовик, 1998; Морозов 1998, Лозовик, Маркканен и др., 2001; Мартынова, Лозовик, 2003; Лозовик, Мартынова и др., 2005; Лозовик, Рыжаков, Сабылина и др., 2006), а также данные более ранних исследований Н.С. Харкевич (1975) по озерам восточного Заонежья, по бассейну р. Кеми, р. Ковды и некоторым притокам Белого моря (Харкевич, Сабылина, Басов, 1984; Сабылина, Селиванова, 1989).

В целом в базе содержатся данные по 833 водным объектам Карельского гидрографического района, среди них 549 водоемов и 284 водотока. Большинство озер имеют площадь  $> 1 \text{ км}^2$ , а реки длину  $> 10 \text{ км}$ . Поскольку водные объекты расположены по всей территории Карелии и сопредельным областям и представлены значительной выборкой данных, эта информация достаточно подробно характеризует район исследований и отражает общие черты его поверхностных вод.

*В третьей главе диссертации* представлены методы оценки состояния водных объектов, включая алгоритмы классификации по щелочности, гумусности, уровню трофии, содержанию растворенного кислорода и расчета интегрированного коэффициента природного качества воды на их основе. А также методы определения доли автохтонного и аллохтонного ОВ и оценки степени аномалии химического состава воды водного объекта по некоторым его компонентам, с применением функций желательности.

В этой главе приведено краткое описание программного обеспечения и структуры базы данных автоматизированной информационной системы «Обработка гидрохимической информации и оценка состояния водных объектов» и принципов её взаимодействия с ГИС.

При классификации водных объектов по щелочности, гумусности и уровню трофии использованы методы нечеткого шкалирования с применением лингвистических переменных. Значения лингвистических переменных во всех случаях задаются с помощью функциональных зависимостей.

Автором геохимической классификации водных объектов (Лозовик, 2006) для определения геохимических классов вод использовались по две линейные шкалы для каждого из показателей – щелочности, гумусности и трофности. При этом ранжирование классов проводилось путем указания их границ на каждой из шкал в отдельности.

Такой подход достаточно удобен при ручной обработке данных и позволяет проводить классификацию без применения сложных расчетов. Однако его реализация в автоматизированной системе значительно затруднена в связи с необходимостью введения большого количества вложенных циклов и условных операторов.

Другая проблема, отмеченная автором классификации, возникает в тех случаях, когда оба химических показателя, по которым проводится классификация, оказываются в переходных областях соседствующих друг с другом классов. Такая неопределенность не позволяет найти аналитически точного решение задачи классификации при условии сохранения линейного подхода к ранжированию классов.

В связи с указанными трудностями для проведения автоматизированной классификации автором данной работы был предложен новый подход к определению классов вод при сохранении их прежних границ. Данный подход, во первых, гарантирует единственное решение задачи классификации для каждого набора исходных параметров, а, во вторых, предоставляет возможность построения простого алгоритма без создания сложной экспертной системы.

Суть подхода заключается в использовании двух шкал условно не связанных переменных, расположенных в двумерном Евклидовом пространстве. Поскольку в природных водах обе переменные являются на самом деле зависимыми, что и было положено автором в основу геохимической классификации (Лозовик, 2006), то связь между ними можно задать определенной функцией. При этом выделяемые автором границы классов делят кривую этой функциональной зависимости на конечное число отрезков, равное числу выделяемых классов. Далее задача построения автоматизированной классификационной схемы сводится к приведению этой кривой к линейному виду и нахождению реперных точек, равноудаленных от границы между соседними классами. Положения реперных точек при автоматизации процесса классификации удобно задавать функциональными зависимостями от номера класса, что значительно упрощает программирование этого процесса при использовании всего одного оператора FOR-TO-DO и сводит к минимуму число возможных ошибок как при создании программы, так и при ее выполнении.

Классификация водных объектов по щелочности основывается на эмпирической зависимости pH воды от её щелочности, которая имеет чётко выраженный экспоненциальный характер:

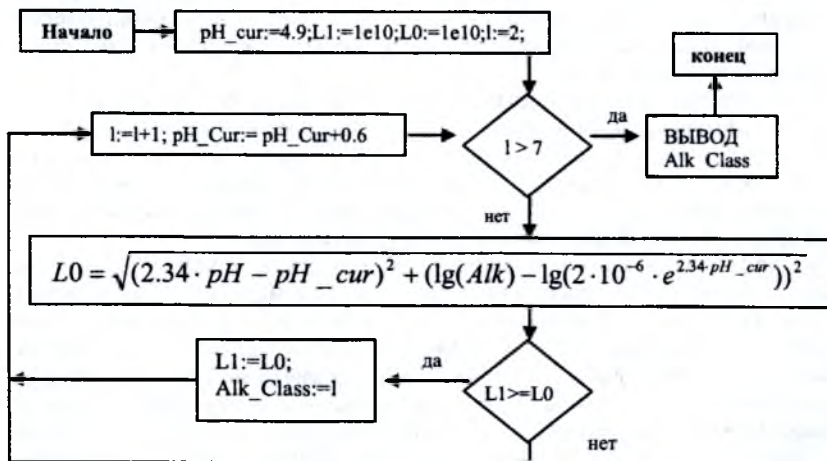
$$Alk = 2 \cdot 10^{-6} e^{2.34 \cdot pH} \quad (1)$$

Далее эта зависимость была приведена к линейному виду, и ранжирование классов проводилось на координатной плоскости  $\lg(Alk)$ -pH. В результате были получены уравнения для расчета реперных точек:

$$pH = 3.7 + 0.6 \cdot n, \quad n = Alk_{class} : 2..7 \quad (2)$$

$$Alk = 2 \cdot 10^{-6} e^{2.34(3.7+0.6n)}, \quad n = Alk_{class} : 2..7$$

Автоматизированная классификация проводится путем построения семи векторов, началом которых является точка, отображающая классифицируемый объект в координатах  $\lg(\text{Alk})$ - $\text{pH}$ , а концом – поочередно каждая из реперных точек каждого класса. Далее находится кратчайший из этих векторов и переменной присваивается номер соответствующего класса. Этот алгоритм весьма прост и состоит из одного условного оператора и оператора цикла с перебором классов от 2 до 7 (рис.1).



**Рис. 1.** Блок-схема алгоритма классификации водных объектов по щелочности. Alk\_Class – номер класса щелочности, pH\_cur - pH текущей реперной точки. pH, Alk – значения pH и щелочности ( $\text{мгHCO}_3/\text{л}$ ) для классифицируемого водного объекта. l, L0, L1 – вспомогательные переменные

В результате, с учётом теоретически обоснованного разбиения шкалы pH с шагом 0,6 (Лозовик, 2006), выделено 7 классов вод по уровню щелочности (табл.1).

Таблица 1

**Порядковые номера классов щелочности и значения соответствующей лингвистической переменной**

№ класса	Значение переменной «щелочность»	Координаты реперных точек pH, Alk ( $\lg(\text{Alk})$ )
1	безщелочностные кислые	4.3, 0 (-)
2	низкощелочностные кислые слабокислые	4.9, 0.19 (-0.72)
3	низкощелочностные слабокислые кислые	5.5, 0.78 (-0.11)
4	слабощелочностные слабокислые	6.1, 3.16 (0.50)
5	среднещелочностные слабокислые нейтральные	6.7, 12.88 (1.11)
6	среднещелочностные нейтральные слабощелочные	7.3, 52.44 (1.72)
7	высокощелочностные слабощелочные	7.9, 213.5 (2.33)

При классификации водных объектов по гумусности использовался как показатель гумусности  $Hum = \sqrt{ЦВ \cdot ПО}$ , так и содержание общего железа.



Согласно исследованиям поверхностных вод Карелии, установлено, что большее содержание железа соответствует большей гумусности вод.

С учетом границ классов гумусности, выделенных Лозовиком П.А. (2006), в данной работе были установлены уравнения для шкалы лингвистических переменных:

$$Hum_n^{\min} = 795,97 \cdot e^{-0,834 \cdot n} \quad n = Hum_{Class} : 2..6 \quad (3)$$

$$Hum_n^{\max} = 1085,5 \cdot e^{-0,844 \cdot n} \quad n = Hum_{Class} : 2..6$$

Содержание железа рассчитывалось с использованием уравнений краевых прямых, полученных по общей совокупности исходных данных по Карельскому гидрографическому району:

$$[Fe_{общ}]_n^{\min} = \frac{Hum_n^{\min}}{28,32} \quad n = Hum_{Class} : 2..6 \quad (4)$$

$$[Fe_{общ}]_n^{\max} = \frac{Hum_n^{\max}}{200,70} \quad n = Hum_{Class} : 2..6$$

Прямые, проведенные по точкам, полученным с использованием уравнений (3) и (4), разбивают пространство координат Hum – Fe<sub>общ</sub> на 5 интервалов, которые соответствуют значениям лингвистической переменной «гумусность». Используя их и координаты краевых точек, удалось вычислить положение реперных точек для каждого класса гумусности:

$$Hum_n = 540,63 \cdot e^{-0,824 \cdot n}, \quad n = Hum_{Class} : 2..6 \quad (5)$$

$$Fe_n = \frac{540,63 \cdot e^{-0,824 \cdot n}}{54,98}, \quad n = Hum_{Class} : 2..6$$

В результате выделяется пять классов вод, а значения лингвистической переменной «гумусность» присваивается согласно табл. 2.

Блок-схема алгоритма классификации водных объектов по гумусности приведена на рис. 2.

Таблица 2

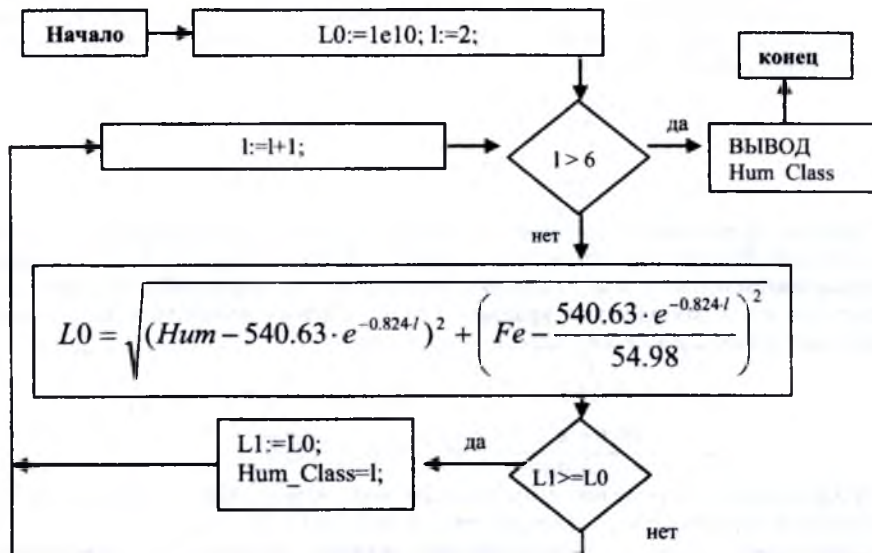
**Порядковые номера классов гумусности и значение соответствующей лингвистической переменной**

№ класса	Значение переменной «гумусность»	Координаты реперных точек Hum, Fe <sub>общ</sub>
2	полигумусные	104,04, 1,89
3	мезополигумусные	45,64, 0,83
4	мезогумусные	20,02, 0,36
5	олигогумусные	8,78, 0,16
6	ультраолигогумусные	3,85, 0,07

При классификации водных объектов по гумусности присвоение соответствующего класса осуществляется путем определения кратчайшего из векторов, направленных из точки, отображающей классифицируемый объект в координатах Hum-Fe<sub>общ</sub> до каждой из реперных точек.

Классификация водных объектов по уровню трофии производится с использованием шкалирования концентрации общего фосфора и классов

гумусности. Как и в предыдущих случаях, классы водных объектов определяются посредством построения координатной плоскости по классифицируемым параметрам. В данном случае координатная ось класса гумусности является дискретной, а пятый и шестой классы гумусности рассматриваются как один в связи с незначительной разницей в трофии олиго- и ультраолигогумусных объектов. Поэтому на координатной оси класса гумусности имеется только четыре дискретных значения, в то время как ось общего фосфора является непрерывной.



**Рис. 2.** Блок-схема алгоритма классификации водных объектов по гумусности.  
 Hum\_Class – номер класса гумусности. Hum, Fe – значения гумусности и содержания железа общего (мг/л) для классифицируемого водного объекта.  
 l, L0, L1 – вспомогательные переменные

Получены следующие формулы для шкалирования лингвистической переменной «трофность»:

$$\begin{aligned}
 Hum_{Class} = 5,6 \quad P_n^{общ} &= 765.7 \cdot e^{-0.959 \cdot n}, \quad n = Troph_{Class} : 1..6 \\
 Hum_{Class} = 4 \quad P_n^{общ} &= 999.8 \cdot e^{-0.938 \cdot n}, \quad n = Troph_{Class} : 1..6 \\
 Hum_{Class} = 3 \quad P_n^{общ} &= 1236.7 \cdot e^{-0.925 \cdot n}, \quad n = Troph_{Class} : 1..6 \\
 Hum_{Class} = 2 \quad P_n^{общ} &= 1473.6 \cdot e^{-0.916 \cdot n}, \quad n = Troph_{Class} : 1..6
 \end{aligned} \tag{6}$$

В результате пространство переменных  $P_{общ}$  – класс гумусности разбивается на 6 интервалов, соответствующих следующим значениям лингвистической переменной «трофность» в порядке увеличения номера класса и по мере

уменьшения содержания фосфора общего: гипертрофные (1), высокоэвтрофные (2), эвтрофные (3), мезотрофные (4), олиготрофные (5), ультраолиготрофные (6). В случае с кислыми водами, в не зависимости от их класса гумусности и содержания общего фосфора, они классифицируются как дистрофные, если класс щелочности равен 1, либо ацидотрофные, если класс щелочности равен 2 или 3. При этом индекс класса трофности указывается с отрицательным знаком: для дистрофных вод -1 и -2 для ацидотрофных. Поскольку ось класса гумусности является дискретной, в данном случае для автоматизированной классификации удобно использовать оператор «CASE-OF», предусматривающий выполнение определенных функций и процедур для каждого индивидуального значения показателя (в данном случае класса гумусности) или их группы (5 и 6 классы гумусности).

Блок-схема алгоритма классификации водных объектов по уровню трофии для 5 и 6 классов гумусности приведена на рис.3. Для других классов вычисления производятся по аналогичной схеме, только в уравнение для расчета переменной Troph\_Pcom подставляются соответствующие константы из (6).

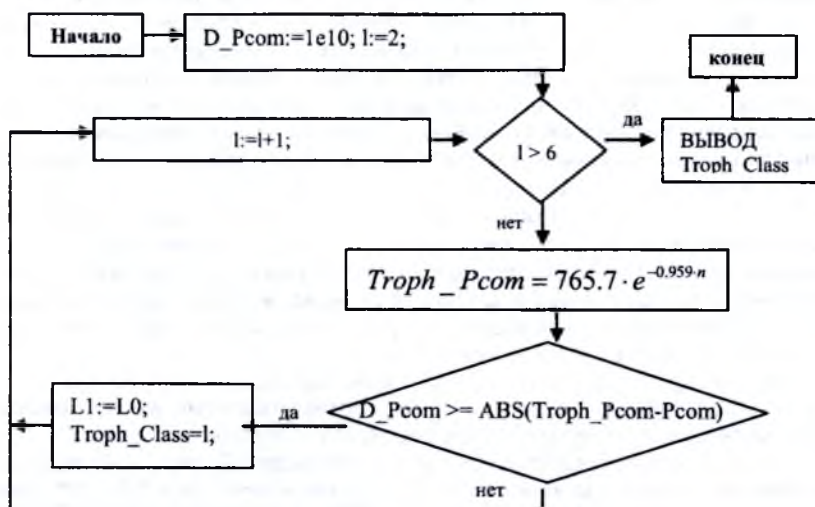


Рис. 3. Блок-схема алгоритма классификации водных объектов по уровню трофии для 5 и шестого класса гумусности. Troph\_Class – номер класса трофности. Pcom – содержание общего фосфора мкг/л. l, D\_Pcom– вспомогательные переменные

Оценка природного качества вод проводилась по баллам геохимических классов вод с учетом содержания  $O_2$ . Соответствующие классам баллы качества: 1 - безщелочностные кислые, гипертрофные; 2 - низкощелочностные кислые слабокислые, полигумусные, высокоэвтрофные; 3 - низкощелочностные слабокислые кислые, мезополигумусные, эвтрофные; 4 - слабощелочностные слабокислые, мезогумусные, мезотрофные; 5 - среднещелочностные слабокислые нейтральные, среднещелочностные нейтральные слабощелочные, высокощелочностные слабощелочные, олигогумусные, олиготрофные,

ультраолигогумусные, ультраолиготрофные. Указанные выше баллы в определенной степени согласуются с пригодностью воды для питьевого водоснабжения и рыбохозяйственных целей.

По содержанию кислорода выделялись следующие группы водных объектов, которым были присвоены соответствующие им баллы качества: равновеснонасыщенные (80-105%) – 5, допустимо насыщенные <60 и >120% - 4, кислорододефицитные (60%-20%) – 3, высоко кислорододефицитные (<20%) и кислородопересыщенные (140% и более) – 2.

Баллы качества по содержанию кислорода при автоматизированной оценке рассчитывались с использованием функции желательности:

$$\begin{cases} O_2\_class = -6,1 \cdot \left(\frac{O_2\%}{100}\right)^3 + 7,5 \cdot \left(\frac{O_2\%}{100}\right)^2 + 1,4 \cdot \left(\frac{O_2\%}{100}\right) + 2, & O_2\% \in [0..140] \\ O_2\_class = 2, & O_2\% \in (140..\infty) \end{cases} \quad (7)$$

$O_2\_class$  - балл качества,  $O_2\%$  - процент насыщения воды кислородом.

Значения функции округлялись для получения целочисленных баллов.

Интегральный индекс качества воды рассчитывался как среднее геометрическое четырех баллов качества, соответствующих классам щелочности, гумусности, трофности, уровню трофии и насыщения воды кислородом. Если данные по насыщению воды кислородом отсутствовали, то при вычислении интегрального индекса качества воды использовались только три показателя (гумусность, щелочность и трофность) и вычислялось их среднегеометрическое значение.

Если воды кислые (класс щелочности  $\leq 2$ ) или полигумусные слабощелочностные (класс гумусности 2, класс щелочности  $\leq 3$ ), то независимо от полученного результата, они относятся к низкому качеству. Аналогично и гипертрофные и дистрофные воды, а также водные объекты, у которых процент насыщения воды кислородом превышает 140% или ниже 20% причисляются к водам с низким качеством.

Основным преимуществом данной классификации относительно других является использование баллов качества, соответствующих их геохимическим классам щелочности, гумусности, трофности и кислородному режиму.

В соответствии с получаемыми баллами, были выделены пять основных классов природного качества воды: низкое -  $\leq 2,5$ , удовлетворительное 2.6 – 3.5, хорошее 3.6 – 4.5, высокое  $\geq 4.6$ . Водные объекты, подверженные антропогенному загрязнению отнесены в отдельную группу «загрязненных» вод.

Для таких водных объектов рассчитывались индексы загрязненности воды (ИЗВ, (Методические рекомендации..., 1988)) и, при наличии достаточного ряда исходных данных – удельные комбинаторные индексы загрязнения воды (УКИЗВ, (РД 52.24.643–2002)). В исходные методики были внесены существенные изменения, позволяющие более объективно отражать степень загрязнения водных объектов. Во первых, расчет ИЗВ и УКИЗВ проводился с использованием региональных ПДК (Лозовик, Платонов, 2005), а для веществ, у которых региональные ПДК не установлены, использовались общероссийские значения ПДК. Во вторых, расчет ИЗВ проводился путем выбора тех показателей, которые вносили максимальный вклад в этот индекс (принцип его



максимизации). В автоматизированной системе имеется возможность расчета ИЗВ и УКИЗВ как по модифицированным методикам, так и по исходным.

Однако оценка степени загрязнения путем расчета ИЗВ и УКИЗВ не позволяет в полной мере выявить объекты, с незначительными отклонениями в их химическом составе, произошедшие вследствие каких-либо внешних антропогенных воздействий или же природных факторов. Для выявления такого рода объектов предложено использовать метод определения аномалий химического состава воды на основе функций желательности (desirability functions, функций принадлежности).

До настоящего времени функции желательности использовались для отражения отклонений абсолютных показателей от их оптимального («желаемого») значения. Поскольку большинство показателей изменяются в широком диапазоне концентраций, это создает трудности при формировании соответствующих шкал, и определении «желаемого» значения для них. Однако, многие химические показатели воды находятся в тесной связи с другими, что позволяет объединять их в группы и проводить комплексную оценку для каждой из этих групп. К одной из этих групп можно отнести главные ионы ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{A}^-_{\text{орг}}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , включая  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NO}_3^-$ , как компоненты ионного состава), и использовать их эквивалентную долю для оценки степени аномальности ионного состава воды. В другую группу можно выделить различные формы N ( $\text{N}_{\text{орг}}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ), характеризующие круговорот N в водной среде и степень обеспеченности водоема этими соединениями.

Поскольку для этих относительных показателей область определения ограничена интервалом от 0 до 1, применение существующих функций желательности с двусторонним ограничением (Харрингтона, Ринке и др.) затруднительно, была разработана авторская функция желательности:

$$f(x) = \ln \left[ \cos \left( \pi x - \frac{\pi}{2} \right) \right]; \quad x \in (0,1) \quad (8)$$

где  $f(x)$  – функция желательности,  $x$  – значение показателя. Она применялась для ионов  $\text{HCO}_3^- + \text{A}^-_{\text{орг}}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Для остальных ионов и форм N была выбрана функция с односторонним ограничением:

$$f(x) = \text{th}(x) \quad (9)$$

Далее, для переноса этих функций в область определения, соответствующую «желаемым» значениям показателей, в уравнения кривых были введены необходимые коэффициенты. Они выбирались так, чтобы при значительных отклонениях показателей от среднерегиональных фоновых значений функции принимали значение 1, а когда таких отклонений не наблюдалось, они принимали значение 0. Ключевые параметры функций желательности – точки экстремума и перегиба, поэтому в уравнения полученных функций были введены также коэффициенты, позволяющие задавать положение этих точек. С учетом этих преобразований уравнения функций (8) и (9) приобретают следующий вид:

$$\mu_A(x, C) = -\frac{1}{4} \cdot \ln \left[ \cos \left( \pi x^{\log_{1,2} C} - \frac{\pi}{2} \right) \right]; \quad x \in (0,1) \quad (10)$$

$$\mu_A(x, A) = \frac{\text{th}[8 \cdot x^{\log_{1,2} 0,316} - 4] + 1}{2} \quad (11)$$

Функция (10) имеет минимум в точке C, которая соответствует среднерегиональным значениям эквивалентной доли ионов в поверхностных



водах Карелии, не подверженных значительному антропогенному влиянию. Среднерегиональные значения эквивалентной доли ионов ( $C_{Ca^{2+}} = 0.44$ ,  $C_{Mg^{2+}} = 0.32$ ,  $C_{A_{орг} + HCO_3^-} = 0.72$ ) для Республики Карелии были заимствованы из работы (Лозовик, 2006). При отклонении эквивалентной доли иона от среднерегиональной, значение функции желательности, отражающее степень аномалии по этому иону, резко возрастает. Для гидрокарбонатов и анионов органических кислот в случае малого их содержания функция может принимать значения  $> 1$ . В этом случае значение функции приравняется 1.

Функция (11) – гладкая, равномерно возрастающая в пределах от 0 до 1 и имеет одну точку перегиба. Коэффициент  $A$  – средняя эквивалентная доля иона по Карелии, она соответствует значению 0.05 функции желательности и для различных ионов принимает следующие значения:  $A_{Na^+} = 0.20$ ,  $A_{K^+} = 0.04$ ,  $A_{NH_4^+} = 0.01$ ,  $A_{SO_4^{2-}} = 0.17$ ,  $A_{NO_3^-} = 0.005$  и  $A_{Cl^-} = 0.11$ .

Концентрации азотсодержащих веществ в незагрязненных поверхностных водах Карелии достаточно стабильны, что может быть представлено следующим неравенством (Лозовик, Бородулина 2009):

$$\begin{aligned} N-NO_2^- << N-NH_4^+ < N-NO_3^- \leq N_{орг} \\ <0.005 \quad <0.05 \quad 0.05-0.3 \quad 0.2-0.7 \text{ мгN/л.} \end{aligned} \quad (12)$$

Основываясь на этом принципе сбалансированного соотношения форм N в поверхностных водах, можно выполнить поиск аномалий в соотношении форм азота.

Для этого на основании неравенства (12) получены следующие пределы колебаний содержания различных форм N от общего:

$$\begin{aligned} N-NO_2^- << N-NH_4^+ < N-NO_3^- \leq N_{орг} \\ 0.4-1.6\% \quad 4-16\% \quad 6-54\% \quad 36-87\% \end{aligned} \quad (13)$$

Коэффициенты в уравнении (9) для  $NO_2^-$ ,  $NH_4^+$  и  $NO_3^-$  принимаются такими, чтобы максимальные доли каждой из форм соответствовали значению 0.5 функции желательности. Для  $N_{орг}$  нормируется нижний интервал его изменения. Коэффициенты при числе  $\pi$  отвечают за чувствительность функции в районе точки перегиба. Они выбирались так, чтобы область изменения абсциссы, при изменении ординаты от 1 до 0, соответствовала интервалу изменения процентного содержания форм N от второго до третьего квартиля для всей выборки данных (833 объекта). При этом были получены следующие уравнения для функций желательности:

$$\begin{aligned} N-NO_2^- : \mu_{A-NO_2^-}(x) &= \frac{1}{2}(\text{th}(160\pi(x-0.016)) + 1) \\ N-NH_4^+ : \mu_{A-NH_4^+}(x) &= \frac{1}{2}(\text{th}(16\pi(x-0.16)) + 1) \\ N-NO_3^- : \mu_{A-NO_3^-}(x) &= \frac{1}{2}(\text{th}(12\pi(x-0.54)) + 1) \\ N-N_{орг} : \mu_{A-N_{орг}}(x) &= \frac{1}{2}(\text{th}(16\pi(-x+0.36)) + 1) \end{aligned} \quad (14)$$

Такой подход, учитывающий не абсолютные значения показателя, а его долю по отношению к общей концентрации элементов подобного типа, четче отражает отклонение химического состава воды от среднерегионального фона.

Кроме того, важным обстоятельством является то, что коэффициенты в уравнениях (10, 11, 14) не зависят от общей минерализации и уровня трофии.

Отдельные показатели аномалии, вычисляемые непосредственно по формулам (10, 11, 14), использовались для детального анализа состояния водного объекта.

Для оценки степени аномалии по всем параметрам использовались интегрированные индексы химического состава воды, которые вычислялись как среднегеометрическое значение для двух оцениваемых характеристик: аномальному распределению главных ионов и форм N. В общем виде формула для вычисления интегрального индекса аномальности  $I$  для каждой характеристики выглядит следующим образом:

$$I = 1 - \sqrt[m]{(1 - \mu_1)(1 - \mu_2) \dots (1 - \mu_m)}, \quad (15)$$

где  $\mu_1 - \mu_m$  – значения функций желательности для каждого показателя. Формула (15) построена так, что при  $\mu_k = 1$  ( $k = 1..m$ ) интегральный индекс принимает значение 1, а при  $\mu_k = 0$  или  $\mu_k \ll 1$  они не вносят существенного вклада в этот индекс. Данная формула позволяет вычислять интегральный индекс аномальности состава воды, имеющий тот же смысл, что и частные значения функции желательности. Если  $I = 1$ , то наблюдается высокая степень аномалии химического состава, если  $I = 0$ , то аномалии отсутствуют.

Достоинство предложенного метода заключается в простоте его алгоритмизации и возможности применения при автоматизированной оценке состояния водных объектов (Зобков 2009, 2011).

Важным показателем качества воды является не только общая концентрация ОВ, но и его генезис, т.е. какая часть ОВ образована в результате протекания внутриводоемных процессов (автохтонное ОВ), а какая - привнесена с водосборной территории (аллохтонное ОВ). Однако, до настоящего момента практически отсутствовали достаточно простые методы определения этих составляющих ОВ природных вод.

При участии автора был разработан метод определения природы ОВ на основе косвенных показателей его содержания. Учитывая различную степень окисления автохтонного и аллохтонного ОВ дихроматом (ХПК) и перманганатом (ПО) калия, а так же их различную светопоглощающую способность (ЦВ) можно составить систему из 3-х уравнений с 4-мя неизвестными:

$$\begin{cases} a \cdot \rho_{\text{авт}} + b \cdot \rho_{\text{алл}} = \text{ХПК} / \text{ПО} \\ m \cdot \rho_{\text{авт}} + n \cdot \rho_{\text{алл}} = \text{ХПК} / \text{ЦВ} \\ \rho_{\text{авт}} + \rho_{\text{алл}} = 1 \end{cases} \quad (16)$$

где  $a = (\text{ХПК/ПО})_{\text{авт}}$ ,  $b = (\text{ХПК/ПО})_{\text{алл}}$ ,  $m = (\text{ХПК/ЦВ})_{\text{авт}}$ ,  $n = (\text{ХПК/ЦВ})_{\text{алл}}$ .

Для поиска решений, соотносящихся с натурными данными, был использован метод итераций на массиве гидрохимических данных по водным объектам Республики Карелия.

В результате этих вычислений было получено уравнение, позволяющее выполнить расчет содержания автохтонного ОВ в природной воде по косвенным характеристикам:

$$\rho_{\text{авт}} = 0.62(\text{ХПК/Нум}) - 0.35, \text{ которое и применяется в АИС.}$$

На основании предложенных методологических подходов в конечном итоге была разработана автоматизированная информационная система «Обработка геохимической информации и оценка состояния водных объектов» (АИС «ОГХИ»), которая состоит из программы управления, написанной на языке программирования Delphi и базы данных в формате Paradox, разбитой на несколько взаимосвязанных таблиц. Схема организации базы данных и информационных потоков в информационной системе показана на рис.4.

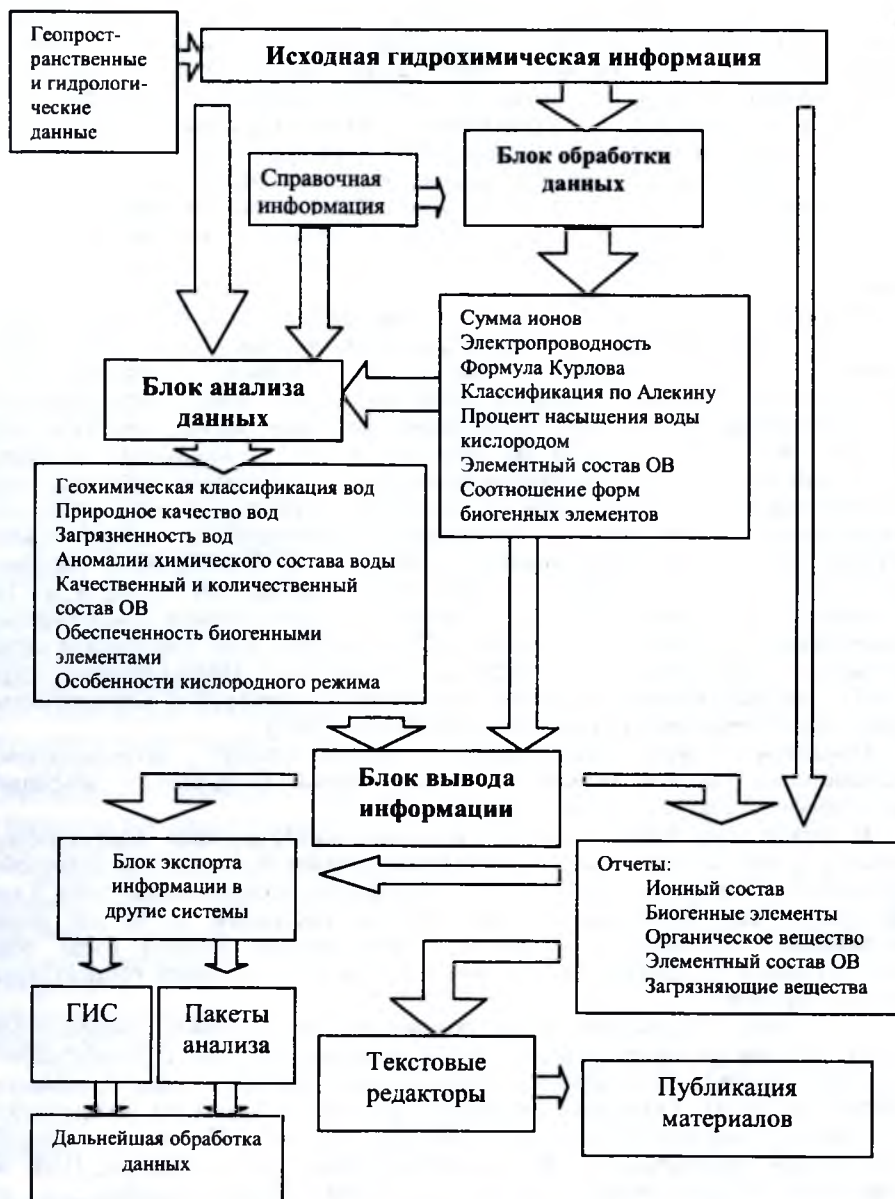
Таблица исходных данных содержит общую информацию о водном объекте и пробе (название объекта, номер станции, географические координаты, номер пробы, горизонт, дата отбора пробы) и физико-химические показатели воды. Вторая группа таблиц содержит гидрологическую и геопространственную информацию об изучаемых объектах. Третья – необходимые для расчетов справочные данные. В четвертой группе таблиц хранятся результаты вычислений. Все таблицы объединяются в общую базу данных программой управления при помощи SQL-запросов и индексных полей. Результаты анализа могут быть представлены в печатном виде или экспортированы в другие системы для дальнейшей обработки. Система применяется для решения как классических задач гидрохимии (расчета суммы ионов, электропроводности, формулы Курлова, классификации вод по Алекину, определение степени насыщения воды кислородом, определения природы ОВ, его массы, элементного состава и др.), так и для более сложных исследовательских задач: оценка загрязненности и качества вод, их геохимическая классификация, а также выявление объектов с аномалиями в химическом составе воды.

Дополнительно реализована возможность вычисления средних показателей, как за весь период наблюдений, так и по годам или сезонам, что позволяет отслеживать динамику химического состава воды.

На основе созданной АИС «ОГХИ», электронного каталога озер и рек Карелии (2001) масштаба 1:1000000 и оболочки ГИС MapInfo была разработана ГИС оценки состояния поверхностных вод Карелии. Обмен информацией между MapInfo и АИС «ОГХИ» осуществляется с помощью электронных таблицы MS Excel (в формате \*.xls). Геокодирование информации осуществляется посредством уникальных кадастровых номеров или номеров станций отбора проб с помощью соответствующего SQL запроса к базам данных АИС и электронного каталога (2001).

ГИС оценки состояния водных объектов Карелии была применена для определения влияния водосборной территории на природное качество воды, закономерностей в пространственном распределении загрязняющих веществ в озерно-речных системах и отдельных водных объектах, поиска возможных источников их поступления, а также построения тематических карт распределения различных показателей.

**В четвертой главе** проведена оценка состояния и качества воды водных объектов Республики Карелия с помощью разработанной информационной системы и ГИС, выполнен анализ результатов и их сравнение с литературными данными и экспертными оценками. Выбранные для тестирования информационной системы водные объекты имели значительные различия по морфометрическому строению, географическому положению, качеству воды и уровню антропогенной нагрузки. Для всей выборки данных (более 800 водных объектов) была проведена классификация и построены тематические электронные карты щелочности, гумусности, трофности и качества водных объектов Карелии, а также их статистические распределения по соответствующим классам.



**Рис. 4.** Схема информационных потоков в системе обработки и анализа гидрохимической информации



В результате выполненного анализа, было установлено, что на территории Республики Карелия наиболее распространенным классом щелочности являются слабощелочностные слабокислые воды, причем максимум распределения водных объектов по классам щелочности совпадает для водоемов и водотоков. По гумусности наиболее представительным среди водоемов является класс мезогумусных вод, в то время как для водотоков – мезополигумусных. По трофности широко представлены классы мезотрофных вод в водотоках и олиготрофных в водоемах. В целом следует отметить, что на территории Карелии преобладают объекты с хорошим и высоким качеством воды (81% от числа обследованных), а доля объектов с низким качеством мала (6%).

Наряду с водными объектами всего региона более детально были рассмотрены водоемы и водотоки Заонежского полуострова, мало подверженные антропогенному влиянию, система р.Кентти, находящаяся под влиянием техногенных вод Костомукшского ГОКа и Онежское озеро как водный объект, испытывающий многофакторное антропогенное воздействие. Для этих водных объектов был проведен анализ их состояния по ионному составу, органическому веществу, биогенным элементам и загрязняющим веществам. Анализ показал высокую степень соответствия между результатами, полученными с помощью автоматизированной информационной системы, и экспертными заключениями, обоснованными предшествующими исследованиями: Лозовик (1998, 2001, 2003, 2005), Харкевич Н.С. (1975, 1984), Сабылина А.В. (1989, 2010), Морозов А.К. (1998) и др. По материалам исследований проведен анализ пространственного распределения химических показателей и качества воды. Созданные при этом тематические карты Онежского оз. и его водосборного бассейна опубликованы в Атласе Онежского озера (2011), а водных объектов Заонежского полуострова в монографии «Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма» (2005).

**Онежское озеро** подвергается многофакторному антропогенному воздействию, но его основная водная масса по-прежнему сохраняет олиготрофный статус и высокое качество воды.

В целом оно характеризуется как среднещелочностное олиготрофное олигогумусное. Значительное антропогенное влияние отмечается на некоторые отдельные районы озера, такие как Петрозаводская и Кондопожская губы, и как следствие этого наблюдается изменение их состояния. В то же время загрязнение отдаленных от промышленных центров районов озера пока незначительно и проявляется главным образом в повышенной концентрации нефтепродуктов.

Загрязнение Онежского озера обусловлено в основном транспортной нагрузкой, поступлением сточных вод Кондопожского ЦБК и хозяйственно-бытовых сточных вод крупных промцентров (Петрозаводска, Кондопоги, Медвежьегорска). Обработка исходных данных химического мониторинга проведена за период наблюдений с 1992 по 2008 годы. Наибольшая степень загрязнения характерна для Кондопожской губы, где превышение ПДК по нефтяным углеводородам иногда достигало 16-ти кратного, а по лигносульфонатам – 1,6 кратного.

Кроме того, были выявлены участки озера со значительными аномалиями в содержании нитратов и хлоридов. Аномально повышенное содержание



нитратов отмечается в районе выпуска сточных вод г.Петрозаводска и Кондопожского ЦБК, а так же вдоль южного, юго - западного и восточного побережий озера, где ведется интенсивная сельскохозяйственная деятельность.

**Водные объекты Заонежского полуострова** не испытывают значительной антропогенной нагрузки и большей частью находятся в природном естественном состоянии. С помощью автоматизированной информационной системы установлены основные геохимические черты поверхностных вод Заонежья, которые в целом близки к региональным. Одной из особенностей вод этого района является повышенная минерализация, щелочность воды, а в некоторых случаях и трофность.

Анализ аномалий в распределении форм азота позволил выявить закономерности, не отмечавшиеся ранее, которые связаны с природными процессами, а не антропогенными факторами. Так, в 2-х озерах (Падмозеро и Турастомозеро) происходило накопление ионов аммония в придонных слоях при насыщении воды кислородом менее 65%, что было обусловлено дефицитом  $O_2$  и наиболее ярко проявлялось в оз.Турастомозеро при насыщении воды менее 10%. Для некоторых водных объектов с помощью разработанной ГИС удалось выявить связь между химическим составом воды и геоморфологическим строением водосборной территории.

**Водные объекты района Костомукши** в значительной степени подвержены влиянию высокоминерализованных техногенных вод Костомукшского ГОКа, в результате чего природное состояние большинства водных объектов системы р.Кенти значительно изменено под действием внешней нагрузки, что подтверждается высокими аномалиями в ионном составе их вод. Наибольшая степень отклонения ионного состава от региональных значений наблюдается для ионов калия и сульфатов. Эквивалентные доли ионов  $K^+$  и  $SO_4^{2-}$  остаются высокими на протяжении всего русла реки от хвостохранилища до оз.Ср.Куйто, в котором техногенные воды подвергаются наибольшему разбавлению. Отклонения в содержании нитратов так же достаточно велики, однако, их относительные концентрации в водоемах системы уменьшаются значительно, чем эквивалентные доли  $K^+$  и  $SO_4^{2-}$ .

Загрязнение водных объектов системы р.Кенти хорошо отражается с помощью интегрального коэффициента аномальности состава воды, который для всех станций наблюдений оставался выше значения 0,5, что соответствует сильному внешнему влиянию на водные объекты. Несмотря на то, что для оз.Ср.Куйто относительное содержание большинства ионов близко к среднерегionalному, все же для калия и сульфатов оно остается значительно выше природного фона.

Степень загрязнения, определенная по модифицированным критериям УКИЗВ и ИЗВ с применением региональных значений ПДК согласуется с данными, полученными с помощью метода аномальных отклонений в химическом составе воды и лучше отражает современное состояние вод.

В отличие от исходных методик УКИЗВ и ИЗВ по модифицированным показателям отмечается высокая степень загрязнения водных объектов верхнего течения реки, в то время как в нижней его части влияние техногенных вод заметно меньше. Все объекты р.Кенти отнесены к грязным или загрязненным водным объектам, за исключением оз.Ср.Куйто, которое находится в

достаточно стабильном природном состоянии несмотря на усиливающуюся антропогенную нагрузку и относится к условно чистым.

### **Основные результаты и выводы:**

1. В работе рассмотрены и обобщены существующие методы оценки состояния водных объектов по химическим показателям и имеющиеся системы обработки гидрохимической информации. Выявлено отсутствие методов и автоматизированных систем, позволяющих выполнять комплексную обработку и классификацию исходной гидрохимической информации. Во всех существующих методах присутствует экспертная составляющая, которая не позволяет реализовать их с помощью формализованных алгоритмов, а в некоторых случаях исключает нахождение однозначного решения задачи классификации.

2. Разработаны математические методы и алгоритмы классификации водных объектов по щелочности, гумусности, уровню трофии, содержанию кислорода в признаковом пространстве геоинформационных данных и оценки природного качества воды на их основе. Результаты, полученные с применением этих методов, согласуются с литературными данными и экспертными оценками. Это позволяет применять их для потоковой обработки гидрохимической информации.

3. Предложен новый математический метод с применением функций желательности для выявления аномальных отклонений химического состава воды от регионального фона. Метод позволяет в автоматизированном режиме выявлять водные объекты с незначительными отклонениями в ионном составе воды и балансе форм азота.

4. Разработан расчетный метод определения доли автохтонного и аллохтонного органического вещества по косвенным показателям его содержания (цветность, ПО и ХПК), который может применяться для ориентировочной оценки их содержания.

5. На основе предложенных методов и алгоритмов создана автоматизированная информационная система обработки гидрохимической информации и оценки состояния водных объектов, позволяющая оптимизировать и значительно ускорить процесс обработки геопространственных данных состояния водных объектов при выполнении НИР в области гидрохимии поверхностных вод.

6. Выполнена верификация работы системы и получено хорошее соответствие результатов с литературными данными и экспертными оценками.

7. Создана геоинформационная система оценки состояния водных объектов Карелии.

8. С помощью ГИС проведен анализ современного состояния водных объектов Республики Карелия. Определено природное качество воды свыше 800 объектов Карельского гидрографического района и предметно рассмотрены Онежское оз., водные объекты Заонежского полуострова и района Костомукши.

9. На примере исследованных объектов района Костомукши, показано, что расчет ИЗВ и УКИЗВ на основе региональных ПДК позволяет более объективно выполнять оценку степени загрязнения воды, что также подтверждается и результатами, полученными по методу аномалий химического состава.

Основное содержание диссертации изложено в следующих публикациях:

**В изданиях, рекомендуемых ВАК:**

1. Лозовик П.А., Морозов А.К., Зобков М.Б., Духовичева Т.А., Осипова Л.А. Аллохтонное и автохтонное органическое вещество в поверхностных водах Карелии // Водные ресурсы, 2007. Т. 34, №2. С. 225-237.

2. Сабылина А.В., Лозовик П.А., Зобков М.Б. Химический состав воды Онежского озера и его притоков как индикатор экологического состояния // Водные ресурсы, 2010, Т.37, №6. С. 717-729.

3. Зобков М.Б. Применение функций желательности для анализа качества воды // Водные ресурсы, том 39, № 1, 2012. С. 63-70.

**В других изданиях:**

4. Лозовик П.А., Басов М.И., Зобков М.Б. Поверхностные воды Заонежского полуострова. Химический состав воды. // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма. – Петрозаводск: Кар.НЦ РАН, 2005. С. 35-47.

5. Зобков М.Б. База гидрохимических данных и автоматизированная обработка гидрохимической информации // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998 – 2006 гг. Петрозаводск: Кар.НЦ РАН, 2007. С. 13-14.

6. Лозовик П.А., Шкиперова О.Ф., Зобков М.Б., Платонов А.В. Геохимические особенности поверхностных вод Карелии и их классификация по химическим показателям. // Труды Карельского научного центра РАН Вып. 9, Петрозаводск, 2006. С. 130-143.

7. Сабылина А.В., Селиванова Е.А. Зобков М.Б. и др. (13) Гидрохимия и донные отложения. // Онежское озеро. Атлас. Петрозаводск: Кар.НЦ РАН, 2010. С.83-100.

8. Лозовик П.А., Зобков М.Б. Классификация объектов бассейна Онежского озера по химическим показателям // Онежское озеро. Атлас. Петрозаводск: Кар.НЦ РАН, 2010. С.105-109.

**В материалах и тезисах научных конференций:**

1. Зобков М.Б. Автоматизированная система обработки и анализа гидрохимической информации // Мат. н.-практ. конф. «Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России, г.Азов, Ростов-на-дону, 2009 г. С.190-195.

9. Зобков М.Б. Автоматизированный экспертный анализ состояния водных объектов Республики Карелия // Мат. конф. «Северные территории России: проблемы и перспективы развития». CD, № гос. регистрации: 0320800990. Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Архангельск 2008.

10. Зобков М.Б., Бородулина Г.С., Сало Ю.А. Гидрогеологические и экологические условия формирования подземного стока в Онежское озеро// тез. конф. «Школа экологической геологии и рационального недропользования». Спб, 2008. С.213-215.

11. Лозовик П.А., Рыжаков А.В., Сабылина А.В., Мартынова Н.Н., Белкина Н.А., Калмыков М.В., Платонов А.В., Потапова И.Ю., Зобков М.Б. Исследование процессов формирования химического состава поверхностных вод Карелии. // мат. конф. «Водные ресурсы Европейского Севера России: итоги и перспективы исследований». С. 249–272.

12. Зобков М.Б., Лозовик П.А. Автоматизация процесса обработки гидрохимической информации // Мат. II Респ. школы-конф. молодых ученых «Водная среда Карелии: исследование, использование, охрана». Петрозаводск, 2006. С.94-99.

13. Zobkov M.B. Automatic water objects classification and natural water quality assessment // Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Scientific and Practical Conference "Environment.Tecnology.Resources.", Latvia, Rezekne, 2009. P.56-63.

**Свидетельства и сертификаты:**

А.с. 2010612351 РФ на программу для ЭВМ Автоматизированная информационная система «Обработка гидрохимической информации и оценка состояния водных объектов (АИС «ОГХИ»)) от 31.04.2010/ Зобков М.Б.// Бюл. RU ОБПБТ, 2010. №2 (71). С.563.